

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

UFABC

BACHARELADO EM QUÍMICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BEATRIZ PATINETI CALATAYUD QUERALT

ORIENTADORA: PROFA. DRA. ANA MARIA PEREIRA NETO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO BAGAÇO VISANDO
SEU APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

Santo André – SP

2014



RESUMO

O estudo da viabilidade do aproveitamento energético dos resíduos agrícolas e agroindustriais, em processos de conversão termoquímica, por meio da determinação de propriedades físico-químicas para a definição das condições de processo, é de fundamental importância, pois visa o aproveitamento energético com a máxima eficiência possível. Amostras de bagaço de cana-de-açúcar foram coletadas na Usina Santa Rosa, situada em Boituva/SP e analisadas para sua caracterização (Granulométrica, Densidade a granel, Poder Calorífico, Análise Imediata e Química). As análises realizadas para o bagaço de 2012 apresentaram pouca divergência em relação ao tamanho da partícula do bagaço. Já a comparação do bagaço da moenda com o bagaço do depósito nos informa que a deterioração da pilha de estocagem do bagaço afeta diretamente suas características, acarretando em consequente perda energética. Pela caracterização realizada do bagaço de cana-de-açúcar, este se mostrou uma alternativa promissora como fonte de energia, apresentando valores relevantes para incentivar ainda mais estudos, principalmente na questão do transporte e armazenamento do bagaço.

Palavras-chave: Bagaço; Cana-de-açúcar; Caracterização; Conversão; Energia.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	6
3. METODOLOGIA	7
3.1 Coleta de Biomassa	7
3.2 Preparo das Amostras.....	7
3.3 Determinação de Propriedades Físico-Químicas	7
3.3.1 Análise Granulométrica	7
3.3.2 Densidade a Granel	8
3.3.3 Poder Calorífico.....	9
3.3.4 Análise Elementar	10
3.3.5 Análise Imediata	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20



1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico a que o mundo assistiu nas últimas décadas foi alavancado pelo uso indiscriminado de combustíveis fósseis. Hoje, a população sente os reflexos desse crescimento, como a escassez do petróleo e as mudanças climáticas globais. Autoridades de todo o mundo buscam por soluções rápidas e eficientes para esse problema. O uso da biomassa como combustível ou como fonte para conversão energética é hoje uma das principais alternativas à utilização dos combustíveis fósseis.

O bagaço, recém-moído possui cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas [lignina (20-30%), celulose (40-45%) e hemicelulose (30-35%)], de 2 a 3 % de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis (CARDONA, 2009). Além disso, grande quantidade de biomassa residual (bagaço) fica disponível, a baixo custo nas destilarias e pode ser direcionado para o processo de cogeração de energia.

Dentre os processos de conversão energética, pode-se considerar a combustão direta para atender as necessidades elétricas da refinaria (cogeração), utilizando parte dos resíduos da cana-de-açúcar disponíveis em campo que são recuperados e transportados até a mesma (WALTER, 2009).

O bagaço que não é queimado nas caldeiras é enviado a um pátio de estocagem. Entretanto, como se trata de uma indústria de caráter sazonal, o fornecimento de bagaço excedente para fins industriais (produção de vapor e geração de energia elétrica) não pode ser realizado de forma direta e contínua, havendo a necessidade da formação de estoques reguladores, a fim de suprir a sua carência no período da entressafra.

A deterioração da camada externa na pilha de estocagem do bagaço protege as camadas internas, gerando perdas de até 15%. Após a extração do caldo, resta ainda no bagaço úmido cerca de 2 a 3% de açúcar que, devido ao alto teor de umidade e à ação microbiana, sofre fermentação, um processo exotérmico, provocando sua deterioração e afetando diretamente suas características, o que, muitas vezes, provoca combustões espontâneas e indesejadas.

Essa deterioração é causada, principalmente, por fungos. Esses fungos dividem-se naqueles que causam a podridão parda, metabolizando os polissacarídeos da parede celular



(hemicelulose e celulose) e os que causam a podridão branca que, além de polissacarídeos, metabolizam também a lignina.

Santos (2011) utilizou técnicas termoanalíticas (TG/DTA/DSC) para o estudo da influência do tempo e das condições de estocagem nas propriedades do bagaço de cana, e consequente perda energética, durante o processo de estocagem. Os resultados evidenciaram que durante a estocagem a hemicelulose se decompõe o que acarreta perda do poder calorífico do bagaço.

É de fundamental importância o conhecimento das propriedades físicas e químicas da biomassa para o dimensionamento dos equipamentos e para a definição das condições de processo, visando um aproveitamento energético com a máxima eficiência possível em processos de conversão termoquímica.

Portanto, o objetivo global desse trabalho é estudar a viabilidade do aproveitamento energético de resíduos agrícolas e agroindustriais em processos de conversão termoquímica, por meio da determinação de suas propriedades físico-químicas.



2. OBJETIVOS

Este projeto objetivou avaliar a viabilidade de aproveitamento energético do bagaço da cana-de-açúcar, resíduo agrícola e agroindustrial, em processos de conversão termoquímica, por meio da determinação de suas propriedades físico-químicas.

O objetivo específico foi:

- Caracterizar o bagaço da cana-de-açúcar por meio dos seguintes procedimentos:
 - Levantamento bibliográfico;
 - Coletar amostras na Usina Santa Rosa, situada em Boituva/SP, da safra de 2012 e posteriormente em 2013, do bagaço recém-moído (moenda) e do bagaço mantido no depósito;
 - Preparar as amostras: secagem em estufa;
 - Realizar as seguintes análises:
 1. Granulométrica;
 2. Densidade a Granel;
 3. Pde Calorífico;
 4. Elementar;
 5. Imediata.
- Avaliar as propriedades físico-químicas das amostras dos bagaços de 2013.



3. METODOLOGIA

3.1 Coleta da biomassa

As amostras de bagaço de cana-de-açúcar foram coletadas na Usina Santa Rosa, localizada em Boituva, interior de São Paulo, a qual utiliza colheita tanto mecanizada como manual da cana. Amostras de bagaço da safra de 2012 e de 2013 foram coletadas após processamento da cana (moenda) e no depósito.

3.2 Preparo das amostras

Após coleta das amostras, estas foram secas à 120°C por 72 horas em estufa, para determinação da umidade (análise gravimétrica).

Após a secagem, o bagaço da moenda de 2012 foi separado por peneiramento em duas frações: a fração retida (tamanho de partícula > 4 mm) e a fração fina (tamanho de partícula < 4mm). Com isso, separaram-se amostras da moenda de bagaço seco *in natura*, bagaço fração retida e bagaço fração fina para o posterior conjunto de análises para a determinação das propriedades físico-químicas de cada uma. O mesmo processo foi realizado para o bagaço da safra de 2013, porém apenas as amostras *in natura* foram posteriormente analisadas.

3.3 Determinação de Propriedades Físico-Químicas.

3.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi baseada na norma NBR 7217. A massa pesada de cada amostra foi de aproximadamente 50g, previamente secas em estufa. As peneiras da série TYLER utilizadas apresentavam diferentes diâmetros de abertura (mesh 9, 20, 28, 35, 60, 100) e encaixadas junto ao fundo de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, de modo a formar um único conjunto de peneiras, mantendo dessa forma o padrão de montagem estabelecido pela norma.

A amostra pesada foi cuidadosamente colocada sobre a peneira superior de forma que evitasse a formação de uma camada espessa de material sobre as demais. No intervalo entre



as análises, as peneiras foram limpas utilizando pincéis e escova, minimizando assim possíveis interferências. As análises foram realizadas com o auxílio do Peneirador Eletromagnético da PAVITEST – Contenco do laboratório da Engenharia de Materiais, 505-1 no Bloco A da UFABC.

A agitação do conjunto de peneiras foi mecânica, durando seis minutos para cada amostra. Conforme indicado pela norma, a agitação foi ajustada com vibração de 95% em que a cada 3 minutos o processo era interrompido para uma agitação manual das peneiras. Após isto, verificou-se a quantidade de material retido e passante de cada peneira e foi determinada a massa total destes materiais.

Segunda a norma, o somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa da amostra inicialmente introduzida no conjunto de peneiras. Obtêm-se a distribuição granulométrica com os dados de porcentagem de massa retida e o valor de abertura de cada peneira.

3.3.2 Densidade a Granel

As análises de densidade aparente foram realizadas seguindo a norma da ASTM E873-82. Recipientes com volumes conhecidos (béqueres de 600, 1000 e 2000 mL) foram pesados para a realização das análises. Depois de preenchidos com as amostras, os recipientes foram pesados novamente.

A densidade aparente é calculada da seguinte forma:

$$\rho = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

onde,

- ρ : massa específica (kg/m^3);
- M_2 : massa do recipiente cheio (kg);
- M_1 : massa do recipiente vazio (kg);
- V : volume do recipiente (m^3).



3.3.3 Poder Calorífico

Poder calorífico de um energético qualquer pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível, podendo ser medido em J/kg. O valor quantitativo desse parâmetro pode variar muito de acordo com o teor de umidade da biomassa. Define-se o poder calorífico inferior (PCI), ao invés de poder calorífico superior (PCS), quando não se considera o calor latente de condensação da umidade dos produtos da combustão. A diferença entre PCS e PCI é a energia requerida para evaporar a umidade presente na amostra e a quantidade de hidrogênio presente.

As análises foram realizadas na Universidade Federal do ABC, utilizando a bomba calorimétrica, pertencente ao curso de Engenharia de Energia. O poder calorífico (PC) foi determinado seguindo a norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D 2015-00.

A bomba calorimétrica utilizada consiste em um recipiente de aço inoxidável (vaso de decomposição), de paredes resistentes e tampa rosqueável. Na tampa existem válvulas para entrada de O₂ e para saída dos gases após a combustão, além de eletrodos para o circuito elétrico e acionamento do processo de combustão. Dentro da bomba, fica suspenso um pequeno cadinho de aço inox com amostra, previamente pesada.

Antes de fechar o recipiente com a amostra, adiciona-se 1 mL de água para solubilização dos gases de combustão. Em seguida, eleva-se a pressão do oxigênio em torno de 30atm. Após a termostatização do sistema (25°C), inicia-se a análise.

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS) a volume constante foi utilizada a seguinte equação:

$$PCS = \frac{(C\Delta T - e)}{m}$$

onde,

- C: capacidade calorífica do vaso de decomposição (cal/°C);
- ΔT: diferença de temperatura (°C);



- e: calor de combustão do fio de algodão ($m_{\text{Algodão}} \times PC_{\text{Algodão}} = 50\text{J}$);
- m: massa da amostra (g).

Para a determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI), foi utilizada a seguinte equação:

$$PCI = PCS - 554m_{H_2O} - RT \frac{\Delta n}{m}$$

onde,

- m_{H_2O} : massa da água formada, em gramas, por unidade massa da amostra;
- R: Constante universal dos gases perfeitos;
- T: temperatura.

3.3.4 Análise Elementar

A composição elementar é o conteúdo em porcentagem de massa de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N). Pela norma D5373 – 08 foi possível determinar o teor de carbono, hidrogênio e nitrogênio em um mesmo procedimento instrumental, mediante a combustão em elevada temperatura da amostra e formação dos gases CO_2 , H_2O e NO_x em uma rica atmosfera de oxigênio.

Para estas análises é necessário um Analisador Elementar, neste caso as análises foram realizadas pela Central Analítica, do Instituto de Química – USP com o modelo Perkin-Elmer CHN 2400. As amostras foram previamente secas em estufa e mantidas em dessecador, para então serem pesadas aproximadamente 6mg destas em cápsulas de estanho e introduzidas no reator de combustão pelo amostrador automático. Sendo necessária a inserção de uma quantidade determinada de O_2 no reator para dar as condições necessárias para a combustão.

Após combustão, os gases gerados são transportados por uma corrente de Hélio através da superfície de cobre no interior do reator, separados por uma coluna de cromatografia gasosa e então detectados por condutividade térmica. Segundo a norma, os óxidos de nitrogênio são transformados em N_2 na câmara de redução para possibilitar a detecção pelo aparelho junto aos demais gases.



Os cálculos para a determinação do teor de carbono, nitrogênio e hidrogênio seguem as equações:

$$C_d = C_{ad} \times \frac{100}{(100 - M_{ad})}$$

$$N_d = N_{ad} \times \frac{100}{(100 - M_{ad})}$$

$$H_d = (H_{ad} - 0,119M_{ad}) \times \frac{100}{(100 - M_{ad})}$$

onde,

- d: base seca;
- ad: base analisada;
- C: quantidade de carbono, % em massa;
- N: quantidade de nitrogênio, % em massa;
- H: quantidade de hidrogênio, % em massa;
- M_{ad} : quantidade de umidade na amostra analisada, %;

Por último, para obter o teor de oxigênio:

$$O = 100 - (C + H + N)$$

onde, O é a quantidade de oxigênio (% em massa).

3.3.5 Análise Imediata

Seguindo a norma da ASTM D7582-10 foi possível a determinação da composição imediata, que é conteúdo em porcentagem de massa de carbono fixo (F), voláteis (V), umidade (W) e cinzas (A).

Para a análise de umidade, pesou-se cerca de 2g de cada amostra em um vidro relógio previamente mantido em dessecador. O conjunto de amostras foi levado para estufa à 110°C



para realização da secagem das mesmas. A quantidade de amostra seca foi pesada em dois horários, após 16 horas e 24 horas do processo de secagem.

O cálculo da porcentagem de umidade foi determinado pela equação:

$$M = \left[\frac{(W - B)}{W} \right] \times 100$$

onde,

- W: massa da amostra utilizada, em gramas;
- B: massa da amostra após a secagem em estufa, em gramas;
- M: porcentagem de umidade, %.

As análises de materiais voláteis foram realizadas separadamente das análises de umidade ao invés de sequencialmente num mesmo processo por motivos de tempo e acessibilidade ao laboratório utilizado. Foram separadas 1g de cada amostra, a ser analisado em cadinhos previamente calcinados. Para os testes foi utilizado um forno mufla à $950 \pm 10^\circ\text{C}$.

Os cadinhos deveriam permanecer 3 minutos na beira da mufla e após isso mais 7 minutos ao fundo da mufla, porém devido à natureza das amostras de bagaço foi necessário apenas que os cadinhos permaneçam por 7 minutos na beira da mufla para obter uma adequada análise de materiais voláteis.

Quando retirados, os cadinhos permaneceram no dessecador até atingirem a temperatura ambiente, para posterior a medição das massas.

Os cálculos utilizados para obtenção do percentual de material volátil seguem as equações:

$$D = \left[\frac{(W - C)}{W} \right] \times 100$$

onde,

- D: massa perdida, %;
- W: massa da amostra utilizada, em gramas;
- C: massa da amostra após queima, em gramas.



$$V = D - M$$

onde,

- M: porcentagem de umidade, %;
- V: porcentagem de materiais voláteis, %.

As cinzas foram determinadas pela medida da massa residual após a queima das amostras num forno mufla a $575 \pm 10^\circ\text{C}$. Para isso 2g das amostras foram pesadas em cadinhos previamente calcinados. Com os cadinhos já dentro do forno mufla, a temperatura inicial era de 20°C , levando 30 minutos para chegar a 250°C e mais 30 minutos para alcançar os 575°C necessários para a realização da análise, permanecendo nessa temperatura por um pouco mais de 3 horas.

Decorrido esse tempo, os cadinhos foram mantidos no dessecador até que esfriassem para então serem pesados novamente.

O cálculo realizado para obtenção da porcentagem de cinzas em cada amostra foi:

$$A = \left[\frac{(F - G)}{W} \right] \times 100$$

onde,

- A: porcentagem de cinzas, %;
- F: massa de cadinho e resíduos de cinzas, em gramas;
- G: massa do cadinho vazio, em gramas.

Com os resultados das análises anteriores pode-se determinar a quantidade de carbono fixo em cada amostra, através da seguinte equação:

$$H = 100 - (M + A + V)$$

onde, H é a porcentagem de carbono fixo, %.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores experimentais de poder calorífico inferior, análise elementar, imediata e densidade aparente, para as amostras de bagaço safra 2012. Os valores obtidos nas análises elementar e imediata (Tabela 1) apresentam pouca divergência em relação ao tamanho da partícula do bagaço, o que indica semelhanças nas composições orgânicas.

Tabela 1: Dados das análises: elementar, imediata, densidade e poder calorífico com objetivo de caracterizar o bagaço safra 2012 *in natura*, fração retida (partículas de tamanho > 4 mm) e fração fina (partículas de tamanho < 4 mm). Os teores dos elementos foram determinados através do Analisador Elementar, já a análise imediata foi realizada submetendo as amostras a diferentes condições de temperatura (% umidade – estufa 110°C por 24 horas, % voláteis – mufla 950°C por 7 minutos, % cinzas – mufla 575°C por 3 horas, % carbono fixo – determinado descontando os teores anteriores). A densidade aparente é determinada pela razão massa de amostra / volume de recipiente X. O poder calorífico superior foi determinado pela bomba calorimétrica e por cálculo determina-se o PC inferior (descontando o calor latente de condensação da umidade). Os valores obtidos nas análises elementar e imediata apresentam pouca divergência em relação ao tamanho da partícula do bagaço (com exceção das cinzas), o que indica semelhantes composições orgânicas.

Análises		Bagaço <i>in natura</i>	Bagaço fração retida	Bagaço fração fina
Elementar	Carbono %	44,56 ± 0,21	44,64 ± 0,25	44,83 ± 0,01
	Hidrogênio %	6,52 ± 0,09	6,17 ± 0,14	6,36 ± 0,06
	Nitrogênio %	0,22 ± 0,05	0,24 ± 0,01	0,22 ± 0,01
	Oxigênio %	48,71 ± 0,35	48,96 ± 0,10	48,96 ± 0,06
Imediata	Umidade %	7,60 ± 0,12	7,76 ± 0,12	7,69 ± 0,13
	Voláteis %	81,09 ± 0,76	81,24 ± 1,51	82,08 ± 0,88
	Cinzas %	2,46 ± 0,06	1,07 ± 0,04	1,87 ± 0,10
	Carbono fixo %	8,85 ± 0,94	9,93 ± 1,67	8,36 ± 1,11
Densidade Aparente (kg/m³)		64,16 ± 7,49	42,44 ± 3,07	67,74 ± 8,93
PC Inferior (kJ/kg)		18042	18151	18057



Analisando os percentuais de cinzas é possível dizer que há um decréscimo no seu valor em ambas as frações de bagaço, especialmente para as amostras de fração retida.

As cinzas são indesejáveis, pois estas são resíduos da combustão responsáveis por emissão de metais devido a sua composição. A sua alta concentração afeta negativamente o poder calorífico e a transferência de calor.

Os riscos de corrosão de caldeiras e incrustações são maiores com o alto teor de cinzas, o que pode diminuir a vida útil destes dispositivos.

O material volátil determina a facilidade com que uma biomassa queima. Isto é, o teor de voláteis interfere diretamente na ignição da biomassa devido à sua reatividade.

Satisfatoriamente, os dados obtidos nas análises de densidade a granel indicaram o que já era esperado, uma diminuição da densidade para a fração retida e um aumento para a fração fina, devido às dimensões das partículas.

A densidade é um parâmetro importante na compactação, isto é, quanto maior a densidade, maior a razão energia/volume. Somado a isso, produtos de alta densidade são desejáveis em termos de transporte, armazenamento e manuseio.

Densidade a granel baixa tem efeito negativo sobre a densidade energética da pilha ou aglomerado e, por conseguinte, também sobre os custos de transporte e da capacidade de armazenamento. Desta forma, é essencial estudos para aperfeiçoar a logística desta biomassa por meio de briquetes.

Vale ressaltar que o teor de umidade indicado para a amostra de bagaço *in natura* (7,60% - umidade de equilíbrio) não indica o teor de umidade do bagaço fresco na usina de origem, tendo este último um teor de umidade em torno de 50-60%.

Os valores do poder calorífico demonstram que não houve variação significativa em relação ao tamanho das partículas de bagaço, com média de 18 MJ/kg. Os valores obtidos são coerentes se comparados com estudos de Santos (2011), que apresentou em seu trabalho o valor do poder calorífico de bagaço como 18,5 MJ/kg.

A análise granulométrica apresentou somatório de todas as massas de 99,70% com relação à matéria seca introduzida no conjunto de peneiras, o que é adequado segundo a norma (Figura 1).



Um conglomerado de partículas sólidas granulares polidispersas se caracteriza por apresentar basicamente várias classes de tamanhos das partículas. Sendo assim, como é possível observar na Figura 1, as amostras de bagaço *in natura* (BN) tiveram maior parcela retida nas peneiras de abertura 2,000 a 0,425 mm, e as amostras de bagaço fração fina (BFF) tiveram maior parcela retida nas peneiras de abertura 0,850 a 0,425 mm. O que era esperado devido à fração fina já ter sido previamente peneirada no preparo das amostras de bagaço (tamanho de partícula < 4mm).

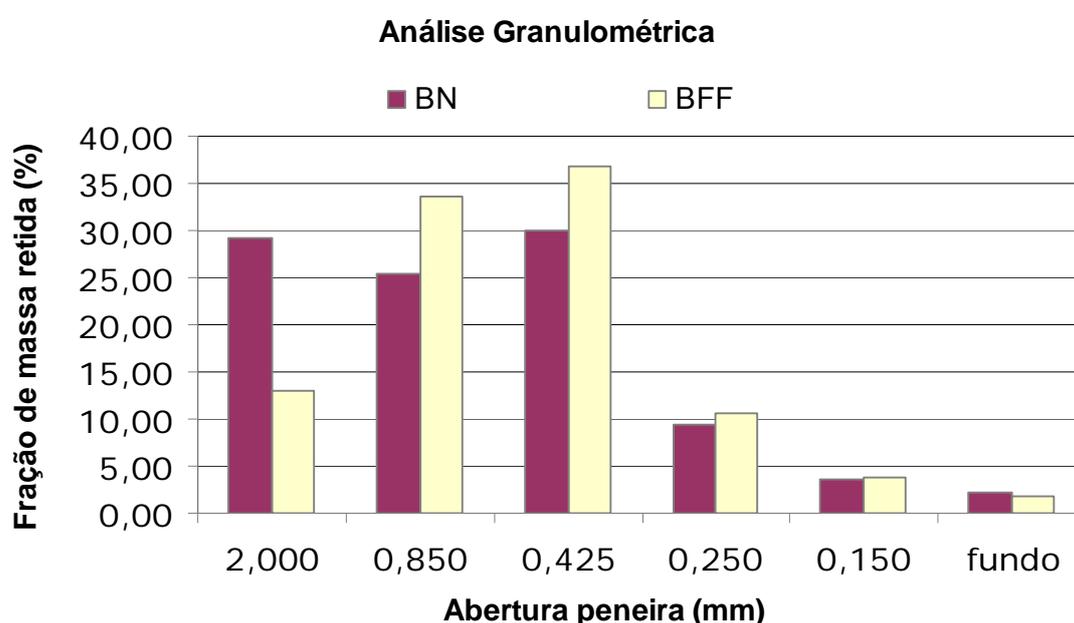


Figura 1: Análise granulométrica das amostras de bagaço *in natura* (BN) e fração fina (BFF). Utilizou-se peneirador eletromagnético e peneiras Tyler mesh (9, 20, 35, 60, 100). Nota-se que o material é polidisperso com maiores parcelas retidas de 2,000 a 0,425 mm para BN e para o BFF de 0,850 a 0,425mm, pois esta amostra foi peneirada previamente para remoção de partículas de tamanho maior que 4 mm.

Como mencionado anteriormente, as análises realizadas para o bagaço de 2012 apresentaram pouca divergência em relação ao tamanho da partícula do bagaço. Portanto, para a avaliação das propriedades físico-químicas das amostras de bagaço de 2013 (moenda e depósito), não foram analisadas as propriedades das frações granulométricas como antes, apenas das amostras *in natura*.



Cada amostra de bagaço do ano de 2013 foi analisada com relação à sua composição granulométrica. A seguir apresenta-se o gráfico (Figura 2) com o percentual de cada fração obtidas com as peneiras da série Tyler 4 – 6 -20 – 28 – 60 – 100 - Fundo.

Pela análise, as duas amostras de bagaço tiveram maior parcela retida nas peneiras de 4,75mm de abertura, seguidas das peneiras com 0,85 mm e 0,25mm.

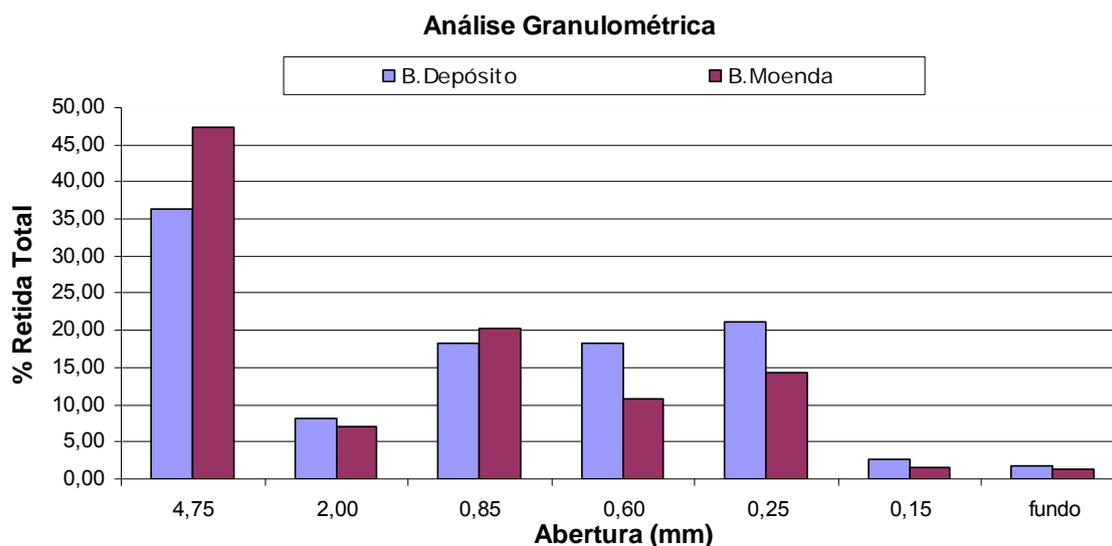


Figura 2: Distribuição granulométrica das amostras de bagaço da moenda e do depósito. Utilizou-se peneirador eletromagnético e peneiras Tyler mesh (4, 6, 20, 28, 60, 100). Nota-se que as duas amostras obtiveram maior parcela retida nas aberturas de 4,75 mm, 0,85mm e 0,25 mm.

Na Tabela 2, a seguir, são apresentados os valores experimentais de poder calorífico, e teores de umidade pós coleta para as amostras de bagaço coletadas em 2013.

Tabela 2: Dados das análises de % de umidade e poder calorífico superior para o bagaço do depósito *in natura* e da moenda *in natura*. O teor de umidade foi obtido pela análise gravimétrica do material após secagem em estufa à 120°C por 72 horas. O poder calorífico superior foi determinado pela bomba calorimétrica. O teor de umidade para o bagaço do depósito *in natura* é menor do que o bagaço da moenda *in natura*. Assim como o PC superior apresentou redução de 5% para o bagaço do depósito *in natura* com relação ao bagaço da moenda *in natura*.

Análises	Bagaço do Depósito	Bagaço da Moenda
	<i>in natura</i>	<i>in natura</i>
% umidade após coleta	34,68	50,88
PC Superior (kJ/kg)	17510 ± 197	18263 ± 48



Nota-se um baixo teor de umidade para o bagaço do depósito após coleta, comparado com o bagaço da moenda. Isso ocorre porque é perdida água por evaporação durante processos exotérmicos de fermentação ocasionados e pela exposição do bagaço ao ar, chegando então ao valor de umidade encontrado na Tabela 2.

Nos estudos de Santos (2011), os resultados de poder calorífico mostram uma redução de cerca de 23% no valor para o bagaço do depósito em relação ao bagaço recém-moído, o que evidencia que a decomposição da hemicelulose afeta o valor do poder calorífico do bagaço.



6. CONCLUSÃO

Os dados experimentais para a caracterização físico-química das amostras de bagaço corresponderam com os dados obtidos em estudos de outros autores. As análises elementar e imediata das amostras de bagaço *in natura*, fração retida e fração fina apresentaram valores pouco divergentes, representando assim semelhantes composições químicas. Uma diminuição no teor de cinzas após o peneiramento da amostra implica, provavelmente, em uma queima com menor emissão de metais, além de diminuir a corrosão de caldeiras e possíveis incrustações que podem diminuir a vida útil desses dispositivos utilizados em sistemas de cogeração em usinas sucroenergéticas.

A comparação do bagaço da moenda com o bagaço do depósito nos informa que a deterioração da pilha de estocagem do bagaço afeta diretamente suas características, acarretando em conseqüente perda energética. O ideal para que se tenha um aproveitamento desejado dessa biomassa, seria a comercialização deste bagaço para outras indústrias da região que possuem sistema de cogeração.

O bagaço de cana-de-açúcar cada vez mais é considerado uma alternativa promissora como fonte de energia e apresentou valores relevantes para incentivar mais estudos, principalmente na questão do transporte e armazenamento do bagaço, por exemplo, como briquetes, devido a sua composição granulométrica.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). NBR 7217: Aggregates - Sieve analysis of fine and coarse aggregates - Method of test.

ASTM – American Society for Testing and Materials (1982). D 1102: Standard Test Method for Ash in Wood.

ASTM – American Society for Testing and Materials (1982). E 872: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels.

ASTM – American Society for Testing and Materials (2000). D 2015: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter.

ASTM – American Society for Testing and Materials (2006). E 873-82: Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels.

ASTM – American Society for Testing and Materials (2010). D 7582: Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis.

ASTM – American Society for Testing and Materials (2008). D 5373: Standard Practice for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal

CARDONA, C.A.; QUINTERO, J.A.; PAZ, I.C.. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. **Energy**, p. 4754-4766.

SANTOS, Moacyr L. Dos et al. ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE ESTOCAGEM DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR ANÁLISE TÉRMICA. **Química Nova**, p. 507-511.

SARTORI, M. M. P.; FLORENTINO, H. O. Energy balance optimization of sugarcane crop residual biomass. **Energy**, p. 1745-1748.

WALTER, Arnaldo; ENSINAS, Adriano V.. Combined production of second-generation biofuels and electricity from sugarcane residues. **Energy**, p. 874-879.